

4. 福井・坂井地区の窒素酸化物の分布および濃度変動に関する要因の検討(第8報)

— 他の汚染物質との比較 —

山田克則, 宮永信幸

I 緒 言

前報 1)2)3)4)5)6)7) まで窒素酸化物の地域特性について種々の検討を重ねてきたが, その結果が窒素酸化物に固有のものなのかどうかを知るためには他の大気汚染物質についてもその特性を調べておく必要がある。

そこで本報ではまず種々の汚染物質の濃度変動・濃度分布を比較し, 次に二酸化硫黄と浮遊粉じんの特性について考察した結果を報告する。

II 調査方法

大気汚染監視テレメータシステムによる昭和59年度の二酸化硫黄(SO_2), 窒素酸化物($\text{NO}_x=\text{NO}+\text{NO}_2$), 浮遊粉じん(SP), 非メタン炭化水素(NMHC), および一酸化炭素(CO)の監視結果をもとに, 濃度変動と濃度分布の特徴をみるために, 月平均値の経月変化, 時刻別平均値の経時変化, 風向別平均値, および風速別平均値について, 福井地区の福井局, 坂井地区の坂井局, および比較のため南越地区の鯖江局, 敦賀地区の敦賀局のデータを集計した。ただし一酸化炭素は福井局のみである。

III 調査結果

1 月平均値の経月変化

各汚染物質の月平均値の経月変化を図-1に示した。特徴は以下のとおりであった。

(1) 二酸化硫黄

濃度変動は平坦に近いが, 冬期に若干高い傾向がみられる。濃度分布は福井局が四季を通じて他の局の約2倍のレベルで, 他の3局はほぼ同レベルであった。

(2) 窒素酸化物

濃度変動は暖候期(4~10月, 以下同じ)に低く, 寒候期(11~3月, 以下同じ)に高い。濃度分布は福井局, 鯖江局, 坂井局の順に低くなり, 敦賀局は暖候期は鯖江局よりも高濃度, 寒候期は鯖江局よりも低濃度となる。

(3) 浮遊粉じん

濃度変動は暖候期の8月のピークと寒候期の2月のピークがみられたが, 8月のピークのほうが高濃度であった。濃度分布は平均すると福井局, 鯖江局, 坂井局, 敦賀局の順に低くなるが, 暖候期は福井局・鯖江局・坂井局の濃度差が小さかった。

(4) 非メタン炭化水素

濃度変動は測定局により異なり, 統一的な特徴が見られない。濃度分布はおおむね福井局, 鯖江局, 坂井局の順に低くなり, 敦賀局は夏期は鯖江局よりも高濃度, その他の季節は坂井局と同程度であった。

(5) 一酸化炭素

濃度変動は窒素酸化物に似て暖候期に低く, 寒候期に高かった。

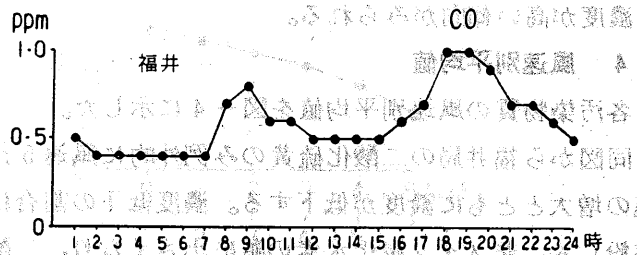
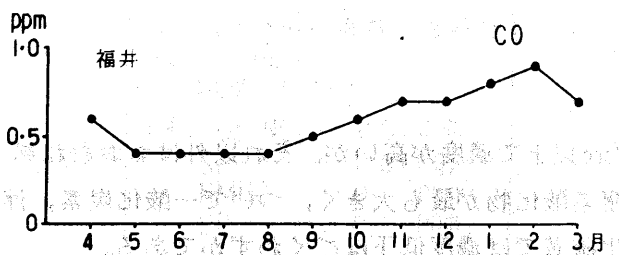
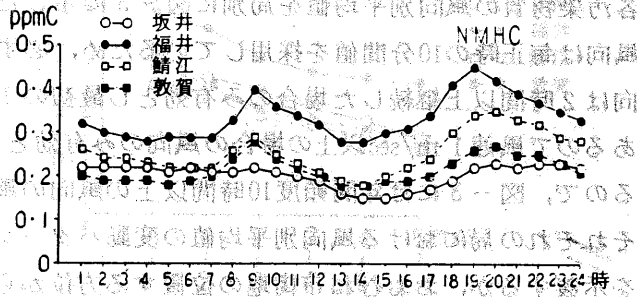
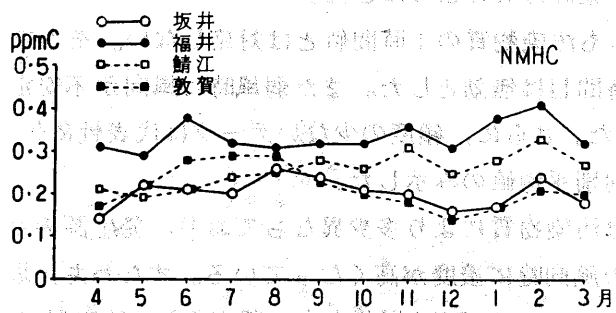
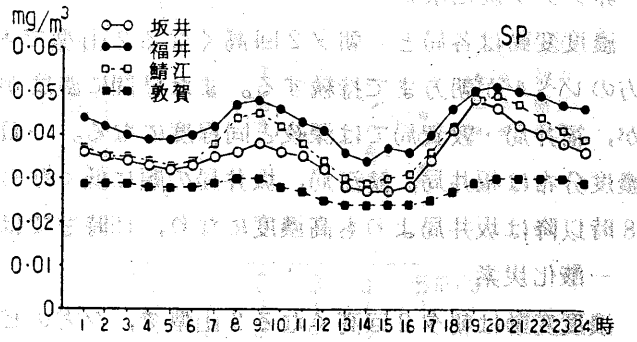
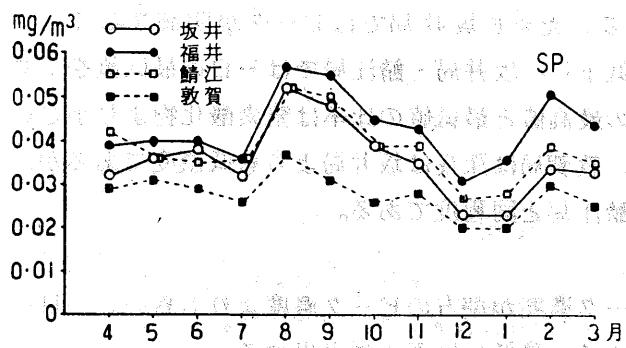
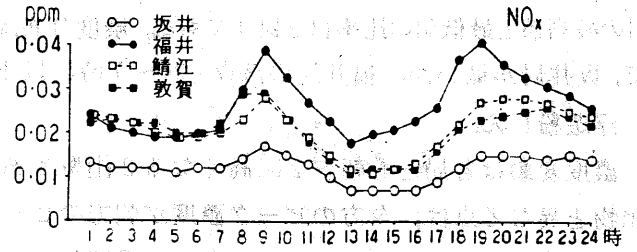
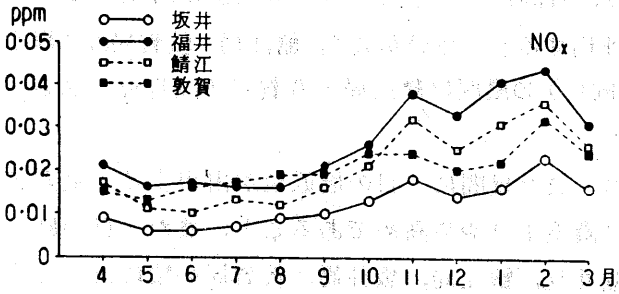
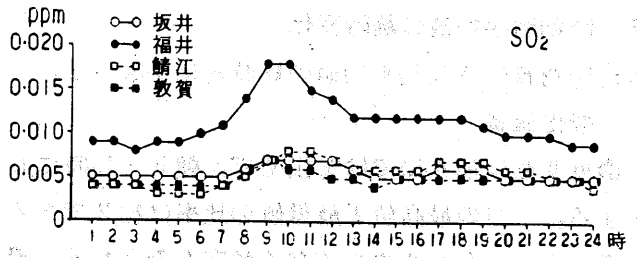
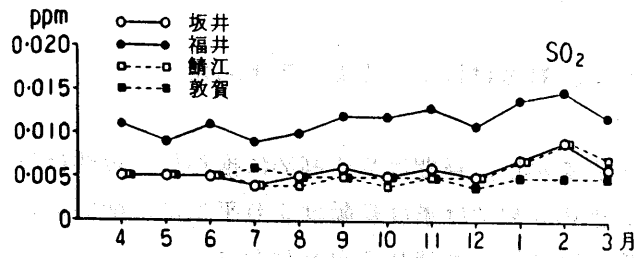


図-1 月平均値の経月変化(59年度)

図-2 時刻別平均値の経時変化(59年度)

2 時刻別平均値の経時変化

各汚染物質の時刻別平均値の経時変化を図-2に示した。特徴は以下のとおりであった。

(1) 二酸化硫黄

濃度変動は福井局では1山型で、朝9・10時にピークを示し、昼間はやや高めに推移し、夜間は低下する。一日の最高値と最低値の比率は約2である。他の3局では濃度変動はより平坦で、朝方のピークが低く、夕方やや高くなる傾向もみられる。濃度分布は一日を通じて福井局が高い。

(2) 窒素酸化物

濃度変動は各局とも朝夕2回高くなる2山型であり、昼間13時ごろに一日の最低値が出現する。一日の最高値と最低値の比率は2以上である。濃度分布は平均すると福井局が高く、鯖江局・敦賀局は同程度で、坂井局が低い。福井局の深夜(24～7時、以下同じ)の濃度は鯖江局・敦賀局と同程度である。

(3) 浮遊粉じん

濃度変動は各局とも朝夕2回高くなる2山型であり、また昼間に一日の最低値が出現する。窒素酸化物と異なる点は、夕方のピーク濃度が朝方のピーク濃度よりやや高めであること、また一日の最高値と最低値の比率が小さいことである。濃度分布は福井局、鯖江局、坂井局、敦賀局の順に低くなるが、福井局と鯖江局との差はピーク時は小さく、また鯖江局と坂井局との差は朝方以外は小さい。

(4) 非メタン炭化水素

濃度変動は各局とも朝夕2回高くなる2山型である。ただし坂井局ではピークが明瞭でなく、夕方のレベルが朝方まで持続する。また昼間に濃度が低下し、坂井局・鯖江局では一日の最低値を示すが、福井局・敦賀局では深夜と同程度になる。一日の最高値と最低値の比率は窒素酸化物より小さい。濃度分布は福井局、鯖江局、坂井局の順に低くなり、敦賀局は深夜は坂井局よりも低濃度であるが、8時以降は坂井局よりも高濃度になり、15時までは鯖江局と同程度である。

(5) 一酸化炭素

濃度変動は朝夕2回高くなる2山型で、夕方のピーク濃度が朝方のピーク濃度よりも高い。一日の最高値と最低値の比率は2以上で窒素酸化物同様大きく、最低値は深夜に出現する。

3 風向別平均値

各汚染物質の風向別平均値を局別に図-3に示した。集計は次のようにした。

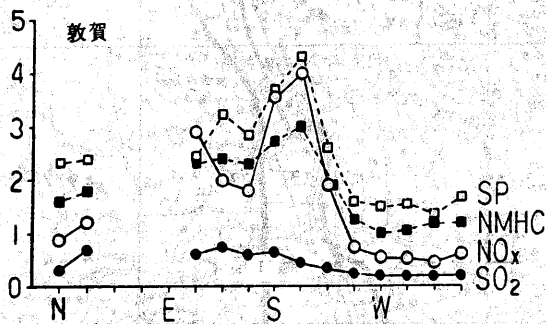
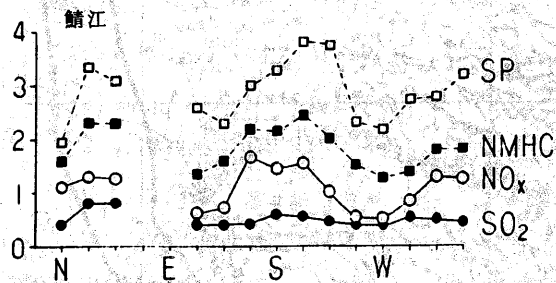
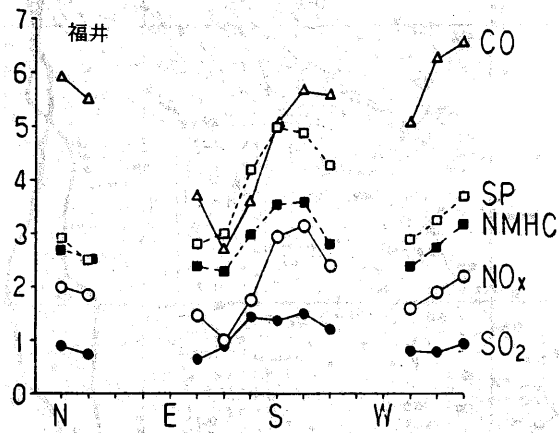
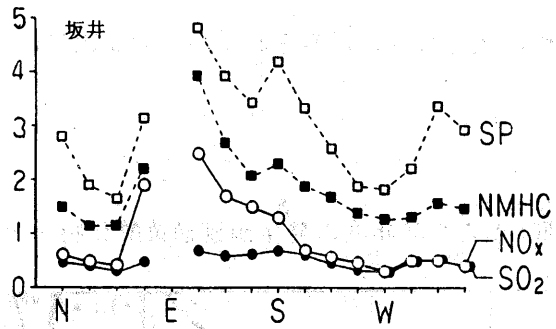
風向は毎正時の10分間値を採用しているため、必ずしも汚染物質の1時間値とは対応しない。そこで風向は2時間以上継続した場合のみ有効とし最初の1時間目は無効とした。また弱風時は風向が不安定であるので風速1 m/sec以上の場合の風向のみ有効とした。さらに、頻度の少ないデータは代表性に欠けるので、図-3には年間頻度10時間以上の風向の風向別平均値のみ示した。

それぞれの局における風向別平均値の変動パターンは汚染物質により多少異なっており、発生源の違いを示唆するが、おおむね市街地の位置する方位からの風向時に濃度が高くなっている。すなわち、坂井局ではESE～S(丸岡町～福井市方面)、福井局ではSSW, NNW(福井市中心部方面)、鯖江局ではNNE, SSW(鯖江市・武生市中心部方面)、敦賀局ではESE～SSW(敦賀市中心部方面)の風向で濃度が高い傾向がみられる。

4 風速別平均値

各汚染物質の風速別平均値を図-4に示した。

同図から福井局の二酸化硫黄のみ例外的に風速5 m/sec以上で濃度が高いが、それ以外はおおむね風速の増大とともに濃度が低下する。濃度低下の割合は窒素酸化物が最も大きく、ついで一酸化炭素、浮遊粉じん、非メタン炭化水素の順に小さくなり、二酸化硫黄では濃度低下はごくわずかである。



同一風向継続時間数 ≥ 2 時間
 風速 ≥ 1 m/s
 年間頻度 ≥ 10 時間
 単位 SO₂, NO_x --- 0.01 ppm
 SP --- 0.01 mg/m³
 NMHC --- 0.1 ppmC
 CO --- 0.1 ppm

図-3 風向別平均値(59年度)

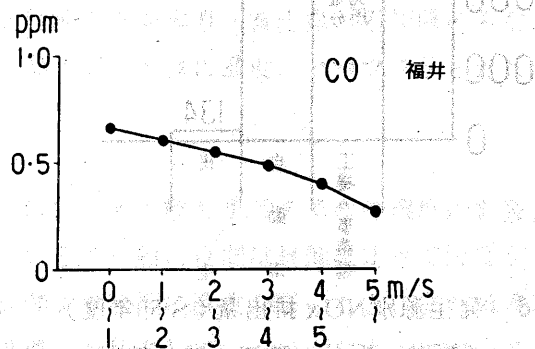
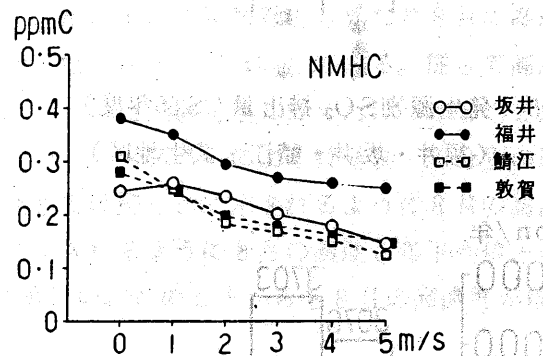
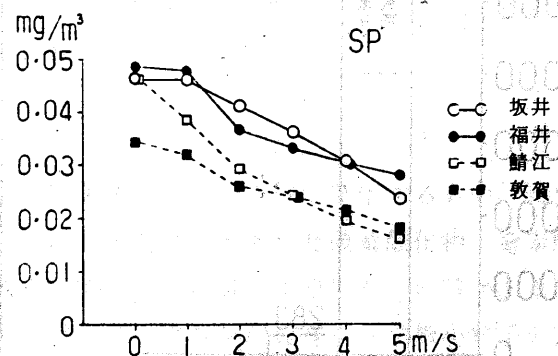
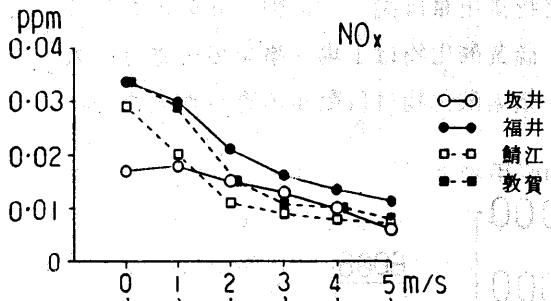
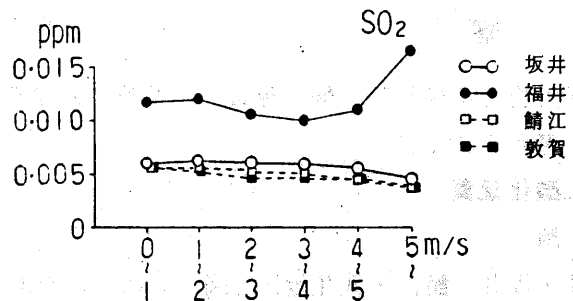


図-4 風速別平均値(59年度)

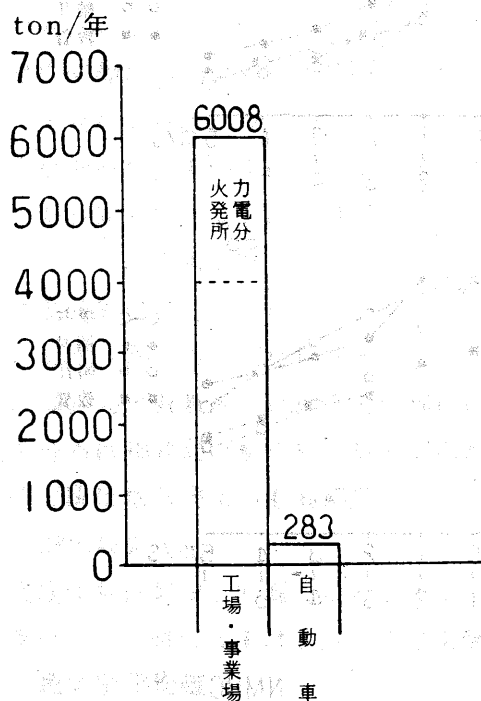
IV 考 察

窒素酸化物と比較して二酸化硫黄，浮遊粉じんはその特性に大きな違いがみられるがその要因は以下のように考えられる。

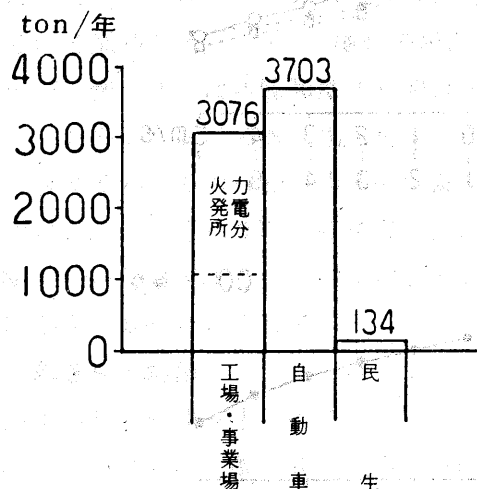
1 二酸化硫黄

(1) 発生源

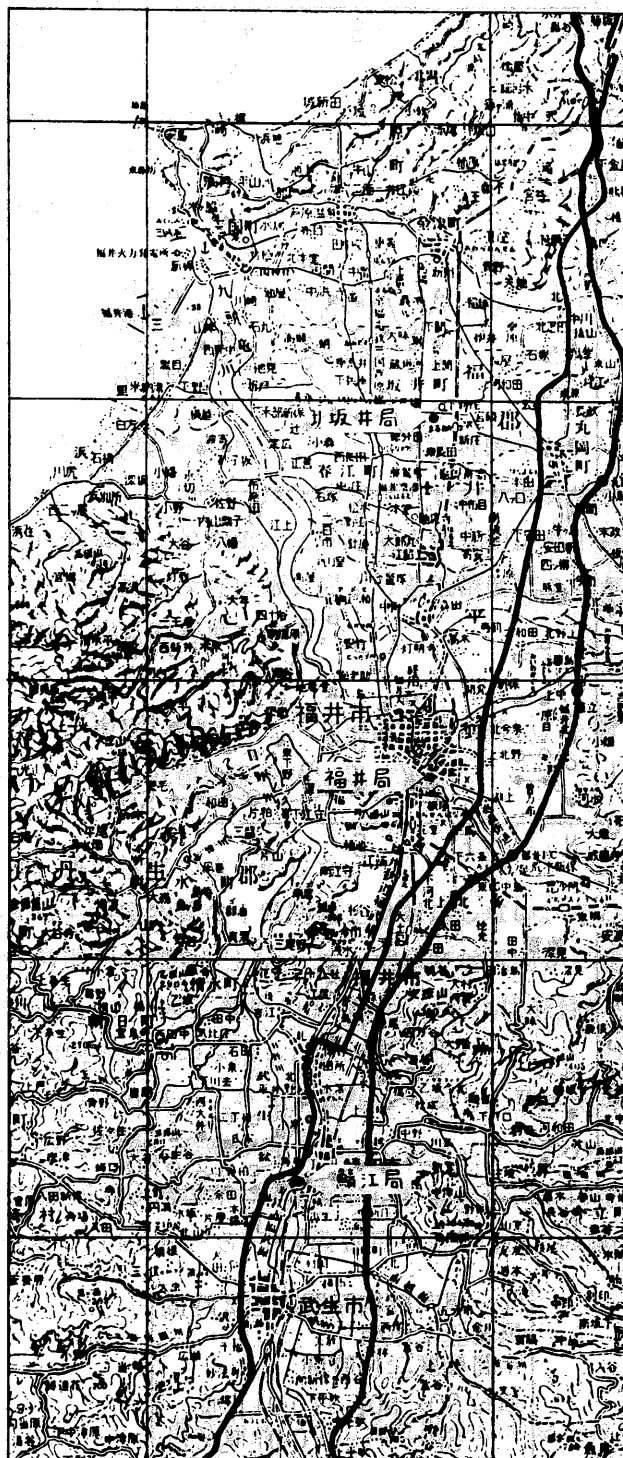
福井・坂井・鯖江・武生地区（図－7 に示した計算範囲）からの55年度の発生源別硫黄酸化物・窒素酸化物排出量は図－5，図－6 のとおりであり，硫黄酸化物は工場・事業場の寄与が大きく，窒素酸化物は自動車の寄与が大きい。



図－5 発生源別SO₂ 排出量（S55年度）
（福井・坂井・鯖江・武生地区）



図－6 発生源別NO_x 排出量（S55年度）
（福井・坂井・鯖江・武生地区）



国道8号線 北陸自動車道
図－7 汚染質排出量の計算範囲

また図-8、図-9はメッシュ別・期別・時間帯別の排出量分布であるが、発生源の違いを反映して硫黄酸化物は窒素酸化物に比較して集中度が高い。

(2) 排出口高度の影響

工場・事業場の排出口高度は自動車に比べて高いので、排出された汚染物質が地上に到達するためには大気鉛直拡散が必要である。そのためには大気がある程度不安定でなければならない。この点で硫黄酸化物は、自動車を主発生源とする窒素酸化物と大きく異なっている。すなわち経時変化において、窒素酸化物は大気の安定な朝方交通量の増大にともない濃度が上昇し、昼間大気が不安定化すると鉛直拡散がすすんで濃度が下がり、夕方大気が地表から再び安定化し同時に交通量が増大すると再度濃度が上昇するのに対し、二酸化硫黄は朝方大気が地表から不安定化してゆく過程で地表に降下する汚染物質の量が増大して濃度が上昇し、その後上空への拡散がすすむと濃度が下がるが鉛直拡散の抑制される夜間よりは高濃度に推移し、夕方以降は大気の安定化にともない汚染物質の降下が減少して濃度が下がるという機構が考えられる。月平均値の経月変化において大気が安定化する寒候期に窒素酸化物のような著しい濃度上昇がみられないのも同じ理由によるものと考えられる。

また風速別平均値において窒素酸化物にみられるような風速増大にともなう著しい濃度低下がみられず、発生源に近い福井局では逆に5 m/sec以上の強風で濃度が高いが、このことも風速増大にともない大気の下向きの鉛直拡散が強まるためと考えられる。

2 浮遊粉じん

(1) 発生源

大気中に浮遊する粒子状物質には工場・事業場・自動車等から人為的に発生するもの、海塩粒子・土壌の舞上り等自然的な原因によって発生するもの、大気中に放出された硫黄酸化物・窒素酸化物・炭化水素等のガス状物質が光化学反応等の反応によって粒子状物質を生成したもの等がある。一般に燃焼によって生じた粒子や大気中で生成された粒子はサブミクロンの粒径をもつ微小粒子の割合が大きく、土壌粒子・海塩粒子等は1 μ m以上の粒径をもつ粗大粒子の割合が大きいと言われる。⁸⁾

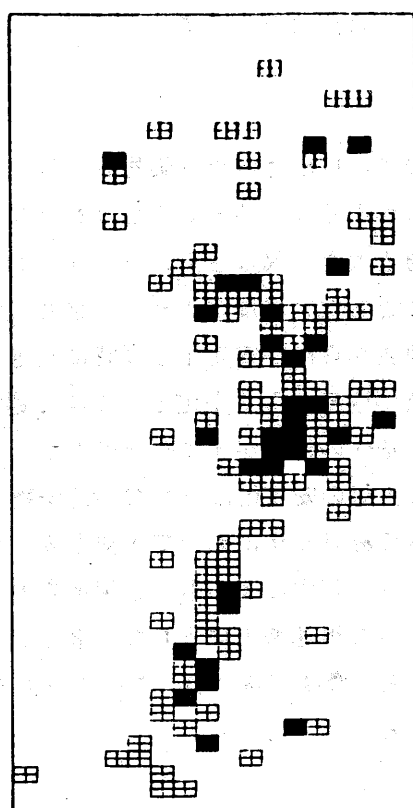
月平均値の経月変化にみられるように浮遊粉じんは他のどの汚染物質とも異なり8月に高濃度が出現している。また高濃度のレベルが福井局・坂井局・鯖江局ともほぼ同じである。従って高濃度の要因は人為的発生源からの排出量の増大ではなく、むしろ自然現象として捉えたほうが妥当と思われる。

坂井局に近い丸岡局ではアンダーセンハイボリュームサンプラーによる粒径別・成分別の浮遊粉じん濃度が測定されているが、⁹⁾その結果をみると粒径別では図-10に示されるように8月の高濃度は粒径の大きい粒子で著しい。また成分別では表-1に示されるように8月の濃度と年平均値との比は自然発生源の寄与が大きいと言われる¹⁰⁾Fe成分で特に著しい。このことから8月の高濃度が自然的なものであることが推察される。

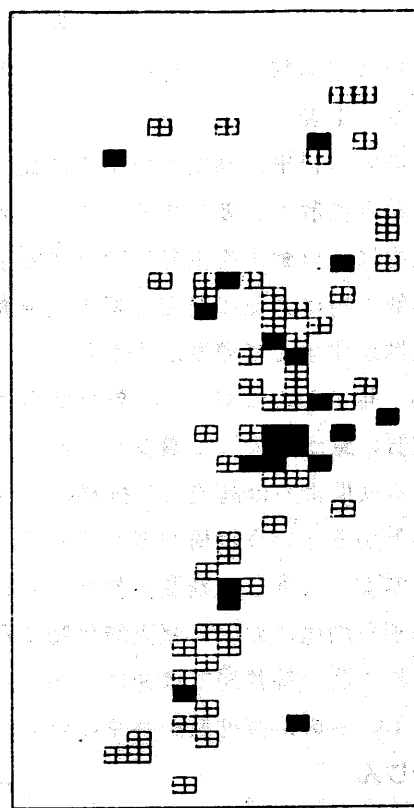
また高濃度が広域的な自然現象であるならば他の県においても同様と考えられるが、環境庁に報告された測定結果¹¹⁾によれば表-2に示されるように北陸地方の新潟県・富山県・石川県のみならず青森県・宮城県・山形県・福島県等においても過半数の測定局で8月に濃度のピークを示したことが確認された。

(2) 気象の影響

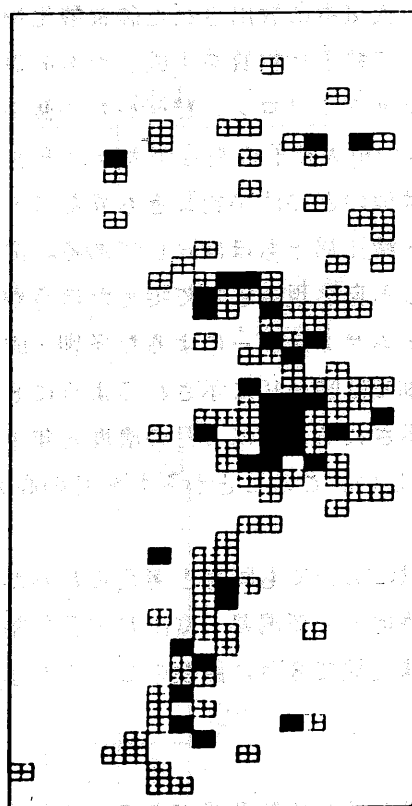
光散乱法による浮遊粉じんの測定値は重量濃度ではなく光の散乱量であるため湿度の影響を大きくうけ、相対湿度85%以上で高い値を示すと言われている。⁸⁾一般に夜間は昼間に比べて湿度が高く弱風である。従って時刻別平均値の経時変化において昼間より夜間に濃度が高いこと、また風速別平均値において弱風で濃度が高いことが果たして真に重量濃度と比例しているのかどうかについては疑問が残る。この点については現在整備中の β 線吸収法による重量濃度の測定機のデータを解析すればより



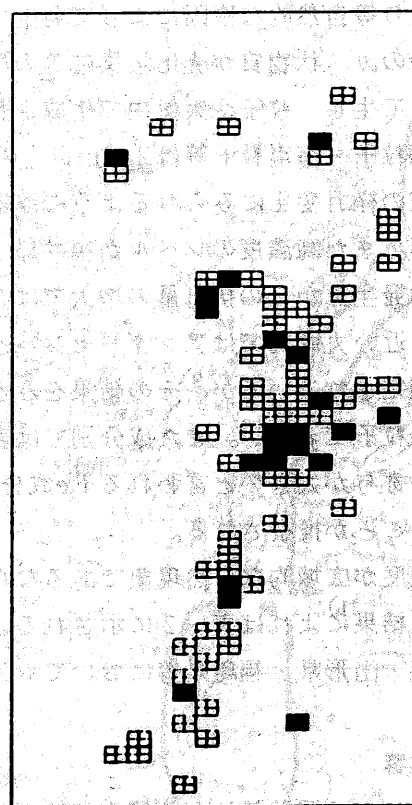
SO₂ 暖候期・昼



SO₂ 暖候期・夜

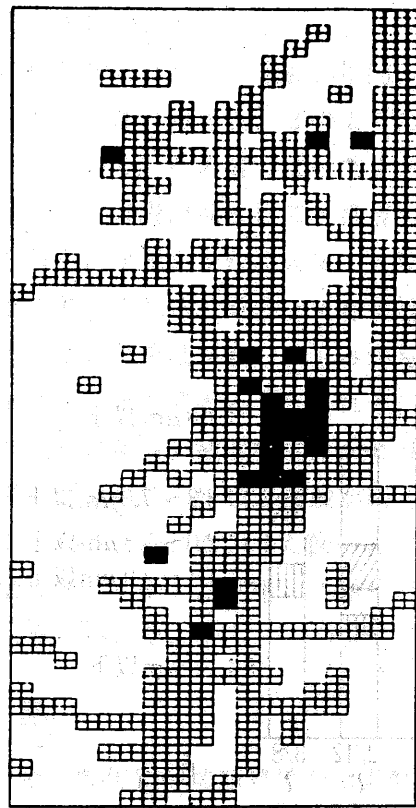


SO₂ 寒候期・昼

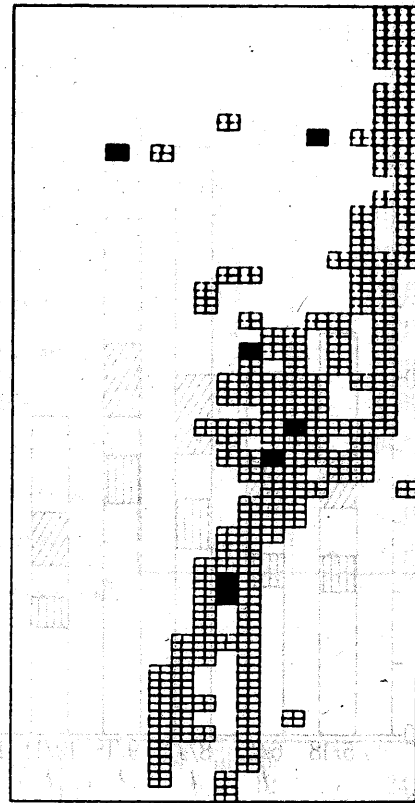


SO₂ 寒候期・夜

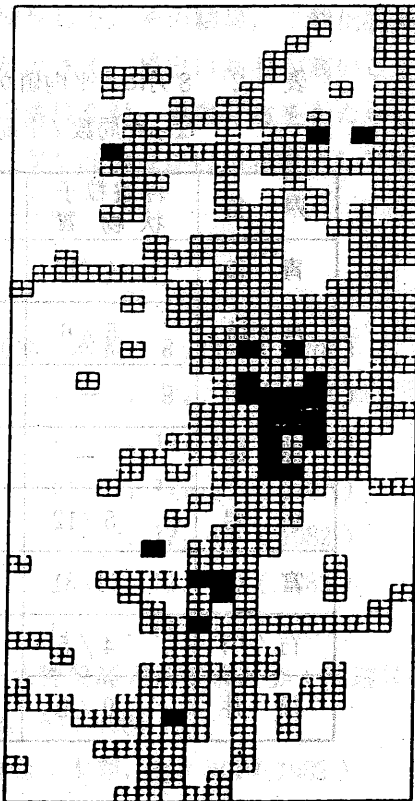
図-8 期別昼夜別SO₂ 排出量 (■ 5 kg/h 以上 □ 0.5kg/h 以上)
 (暖候期: 4~10月, 昼: 7~19時 の平均)
 (寒候期: 11~3月, 夜: 19~7時)



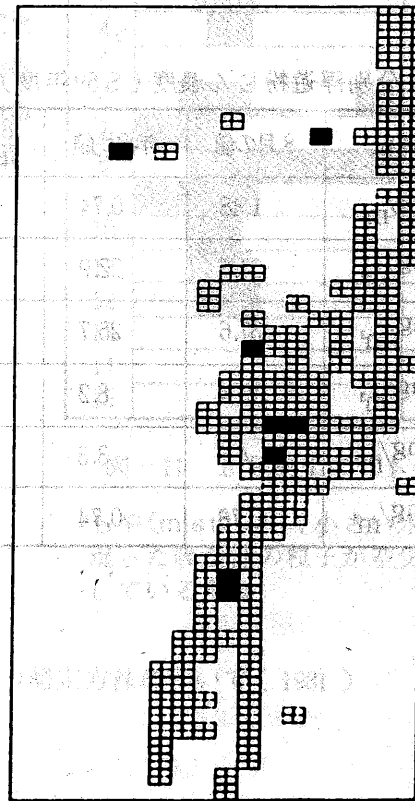
NOx暖候期・昼



NOx暖候期・夜



NOx寒候期・昼



NOx寒候期・夜

図-9 期別昼夜別NOx排出量(■ 5 kg/h以上 □ 0.5kg/h以上)
(暖候期: 4~10月, 昼: 7~19時の平均)
(寒候期: 11~3月, 夜: 19~7時の平均)

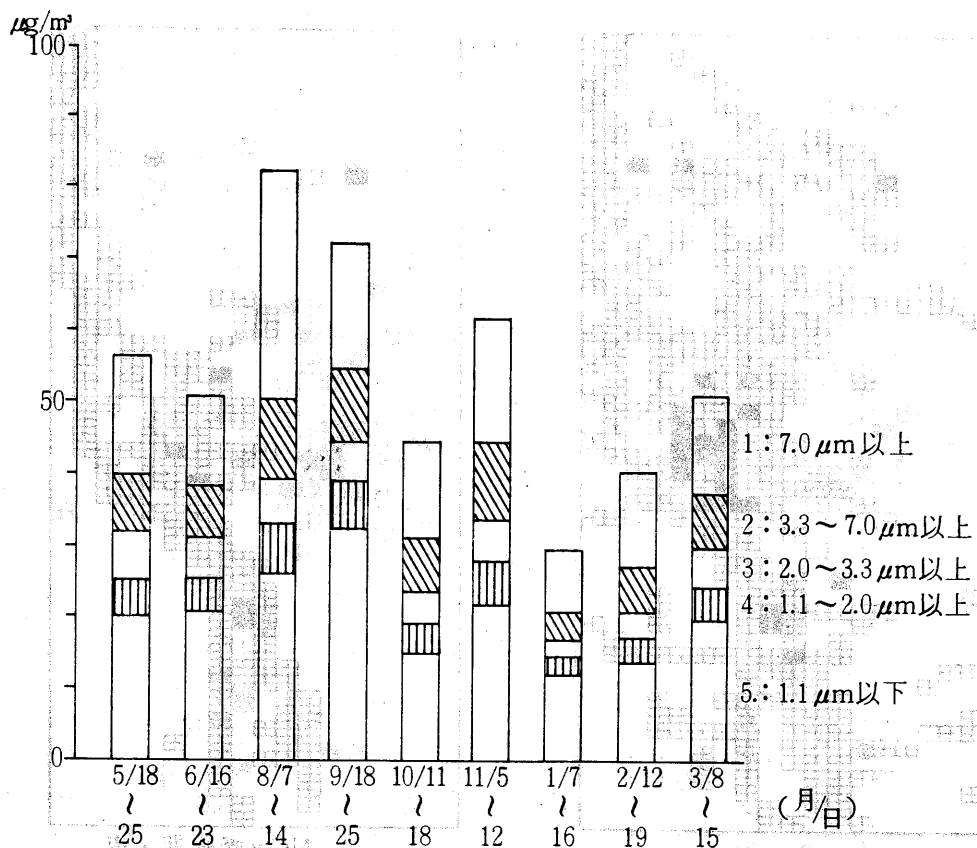


図-10 粒径別浮遊粉じん濃度 (S59年度)

表-1 成分別浮遊粉じん濃度 (S59年度)

成分	単位	8月の値	年平均值	8月の値 年平均值
Fe	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.48	0.74	2.0
Pb	ng/m^3	24.8	22.9	1.1
Mn	ng/m^3	37.6	25.7	1.5
V	ng/m^3	10.4	8.2	1.3
Ni	ng/m^3	4.8	3.3	1.5
Cd	ng/m^3	0.78	0.74	1.1

表-2 8月に月平均値が最も高く
なった局数 / 全局数

県名	浮遊粒子 状物質	浮遊粉じん
青森	4 / 10	3 / 3
宮城	5 / 6	18 / 25
山形	—	15 / 17
福島	—	18 / 31
新潟	5 / 12	20 / 33
富山	24 / 31	2 / 3
石川	4 / 5	13 / 17
福井	9 / 9	24 / 31

明確になるものと思われる。

月平均値の経月変化について過去10年間、何月に月平均値が最も高くなったかを調べると表-3のようになり、秋季または夏季に高くなっている。この要因は秋季または夏季は良い天気が長続きしやすく、地表が乾燥して土壌等の舞上りが生じやすいこと、また降水、強風が少なく大気中に粒子状物質が蓄積されやすいことと考えられる。夏季は上昇気流に乗って微粒子が舞上りやすく、また秋季は稲わら・もみから焼きにより微粒子の発生量がふえることも要因と考えられる。特に59年度についてみると、福井地方気象台の観測結果によれば7月27日から8月21日まで無降水が継続し、粉じん濃度が高くなりやすい気象条件であったことが認められた。また図-11にみられるように8月の前半しばしば「もや」が発生しており、浮遊粉じんの高濃度との関連がうかがえた。

表-3 浮遊粉じんの月平均値が最も高くなった月

局 年度	坂井	福井
51	10月	10月
52	10月	10月
53	7月	11月
54	10月	10月
55	9月	9月
56	9月	6月
57	10月	10月
58	8月	8月
59	8月	8月
60	6・7月	8月

V 結 語

本報では、窒素酸化物の地域特性が窒素酸化物に固有のものであるのかどうかを検証するため、他の大気汚染物質特に二酸化硫黄と浮遊粉じんについて、その地域特性について検討した。その結果、二酸化硫黄では固定発生源の寄与が大きく、排出口高度が高いことが窒素酸化物と異なった濃度変動・濃度分布をもたらし、また浮遊粉じんでは主要な高濃度が自然現象として生じていることが推察された。

参考文献

- 1) 山田克則他：本報，8，117(1978)
- 2) 同 上 ， 9， 97(1979)
- 3) 同 上 ， 10， 138(1980)
- 4) 同 上 ， 11， 134(1981)
- 5) 同 上 ， 12， 144(1982)
- 6) 同 上 ， 13， 113(1983)
- 7) 同 上 ， 14， 118(1984)
- 8) 浮遊粒子状物質測定法等検討会：浮遊粒子状物質の測定方法について(1981)
- 9) 本報，14， 50(1984)
- 10) 吉川昌範他：本報，12， 101(1982)
- 11) 環境庁大気保全局大気規制課：昭和59年度一般環境大気測定局測定結果報告(1985)

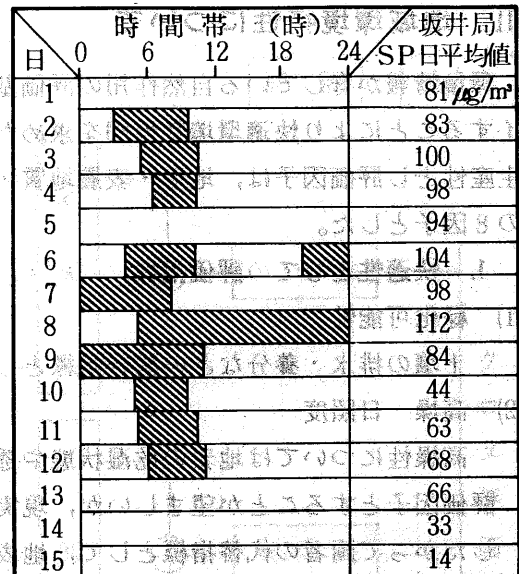


図-11 8月前半の「もやの発生」

もや(mist)：ごく小さい水滴または湿った吸湿性の粒子が空気中に浮遊している現象